

1050 1269

⑤

Int. Cl. 2:

**B 23 K 26/00**

H 03 H 3/04

⑬ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**DEUTSCHES**



**PATENTAMT**

**DE 27 13 904 A 1**

⑪

# **Offenlegungsschrift 27 13 904**

⑫

Aktenzeichen:

P 27 13 904.4-34

⑬

Anmeldetag:

29. 3. 77

⑭

Offenlegungstag:

5. 10. 78

⑮

Unionspriorität:

⑮ ⑬ ⑭

⑯

Bezeichnung:

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mittels Laserstrahl erzeugten gratfreien Bohrungen

⑰

Anmelder:

Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

⑱

Erfinder:

Müller, Paul, 8000 München

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

**DE 27 13 904 A 1**

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von mittels Laserstrahlung erzeugten gratfreien Bohrungen, gemäß dem man den Bohrgrat in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles aufschmelzt und einschußseitig mit dem Material des Werkstückes verschweißt, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß man schon während des Bohrvorganges den sich laufend bildenden Bohrgrat (22) durch Anwendung eines weiteren, den Laserbohrstrahl (11) überlagernden und gegenüber diesem defokussierten Schmelzstrahles (13) verschweißt.
2. Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungslaserstrahl (3) in einen am Arbeitsort eine hohe Energiedichte aufweisenden Bohrstrahl (11) und einen am Arbeitsort den Bohrstrahl ummantelnden und eine geringere Energiedichte aufweisenden Schmelzstrahl (13) aufgegliedert ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungslaser ein bifokussierendes Mehrlinsen-Objektiv (14) aufweist, das den Laserstrahl (3) in einen energiereichen Bohrstrahl (11) und einen eine geringere Energiedichte als der erstere aufweisenden Schmelzstrahl (13) aufgliedert, wobei die Brennpunkte (P1) des Bohrstrahles (11) und (P2) des Schmelzstrahles (13) auf der optischen Achse (A) gelegen sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektiv-Linse (19) für den Bearbeitungslaser eine Ringlinse (20) und eine planar hierzu angeordnete Kernlinse (21) ist, wobei diese beiden Linsenkörper (20, 21) aus Materialien unterschiedlicher Brechkraft bestehen.
5. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektiv-Linse (19) eine Fresnel-Linse ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet,

809840/0280

ORIGINAL INSPECTED

Best Available Copy

daß das Objektiv (14) eine Ringlinse (20') sowie eine Kernlinse (21') aufweist, die komplanar zueinander angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Laserobjektiv (14) eine ringförmige Objektiv-Linse (20') und eine hierzu komplanar gelegene Linse (25) aufweist, die gegeneinander einstellbar sind und daß diese beiden Linsen nur die Mantelzone des Laserstrahles (3) beeinflussen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kernlinse (21') bzw. die Zwischenlinse (25) in Richtung der optischen Achse verstell- und einstellbar sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß sie zwei Bearbeitungslaser (10 und 12) aufweist, und daß die optische Achse (A') des Schmelzstrahles (13) unter einem spitzen Winkel (W) zur optischen Achse (A) des Bohrstrahles (11) gerichtet ist und daß die beiden optischen Achsen (A und A') sich im Brennpunkt P1 des Bohrstrahles (11) schneiden.

809840/0280

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
Berlin und München

-3-

2713904  
Unser Zeichen  
VPA 77 P 7030 BRD

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mittels Laserstrahl erzeugten gratfreien Bohrungen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen von mittels Laserstrahlung erzeugten gratfreien Bohrungen, gemäß dem man den Bohrgrad in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles aufschmelzt und einschussseitig mit dem Material des Werkstückes verschweißt.

Das Bohren und Schneiden von Werkstücken mittels hochenergie- reichen Strahlen, vorzugsweise unter Anwendung von gepulstem Laserlicht, ist bekannt. Beim Bohren entsteht an der Bohrungskante bzw. dem Bohrkrater ein Grat, der je nach der Art des zu bohrenden oder schneidenden Materials sowie von der Energiedichte des Strahles verschiedene Formen aufweist. So kann z.B. beim Bohren von Stahl der Grat in Form von mit dem Werkstück verbundenen Tropfen aber auch in der Art von Nadeln nur lose mit dem Werkstück verbunden sein. Wird das Werkstück später hohen Beschleunigungskräften ausgesetzt, wie dies z.B. bei zur Frequenzstabilisierung dienenden Stahlbiegeschwingern der Fall ist, so kann es vorkommen, daß Teile des Grates abbrechen und in der benachbarten Umgebung des Werkstückes die Funktion von Vorrichtungen nachteilig beeinflussen; auch wird durch den abgebrochenen Grat die Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers zum Teil erheblich geändert. Zur Vermeidung dieses Nachteiles wurde im deutschen Patent Nr. 23 55 428 vorgeschlagen, den Bohrgrad in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles aufzuschmelzen und mit der Stirnfläche des Biegeschwingers zu ver-

Gil 1 Kow / 21.3.1977 809840/0280

Best Available Copy

schweißen.

4

- Derartige Stahlbiegeschwinger haben sich gut bewährt. Indessen ist die Herstellungsweise dieses bekannten Stahlbiegeschwingers zeitaufwendig. Nach erfolgtem Abgleichen wird der Bohrgrat durch die Fokussierung des Laser- bzw. Elektronenstrahles niedergeschmolzen und mit der Stirnfläche des Stahlbiegeschwingers verschweißt. Dadurch kann es vorkommen, daß sich die Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers ändert. Es muß unter Umständen ein erneuter Abgleich vorgenommen werden. Ist der Bohrgrat hinsichtlich seiner Masse vergleichsweise groß, wie dies bei relativ tiefen Einschüssen in die Stirnfläche eines Stahlbiegeschwingers vorkommt, so bedingt dieser Umstand eine längere Einwirkung des defokussierten Bearbeitungsstrahles auf das Werkstück und somit einen höheren Zeitaufwand. Entsprechende Nachteile treten bei allen mittels Laserstrahl erzeugten Bohrungen auf, bei welchen der Bohrgrat in einem späteren Arbeitsgang mit dem Werkstück verschweißt werden soll. Diese Nachteile sollen durch die Erfindung behoben werden. Dies geschieht gemäß dem erfinderischen Verfahren dadurch, daß man schon während des Bohrvorganges den sich laufend bildenden Bohrgrat durch Anwendung eines weiteren, den Laser-Bohrstrahl überlagernden und gegenüber diesem defokussierten Laser-Schmelzstrahles verschweißt.
- 25 Durch diese erfinderische Verfahrensweise wird demnach der sich bildende Bohrgrat schon während seiner Entstehung kontinuierlich mit der dem Laser-Bohrstrahl zugekehrten Fläche des Werkstückes verschweißt. Bei der während des Abgleichens eines Stahlbiegeschwingers laufend erfolgenden Messung seiner Eigenfrequenz und dem Vergleich der Istfrequenz mit einer Sollfrequenz, z.B. gemäß der DT-OS 23 13 574 entfällt somit eine Nachbehandlung bzw. eine erneute Überprüfung der Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers nach erfolgtem Verschweißen des Bohrgrates mit der Stirnfläche des Stahlbiegeschwingers.
- 35 Zur Ausübung des Verfahrens bedient man sich vorteilhaft eines Bearbeitungslasers, dessen Linsensystem vorzugsweise dessen Objektiv den Bearbeitungslaserstrahl in einen Bohrstrahl und in

809840/0280

COPY

Best Available Copy

-3-5

5 einen in seiner optischen Achse liegenden und gegenüber dem  
ersteren defokussierten Schmelzstrahl aufgliedert. Besonders  
vorteilhaft ist es, mit nur einem Bearbeitungslaser zu arbeiten,  
wobei man mittels eines Mehrlinsen-Objektives den Laserstrahl in  
einen Bohrstrahl und einen eine geringere Energiedichte als der  
erstere aufweisenden Schmelzstrahl aufgliedert.

10 Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung besitzt das Objektiv  
des Bearbeitungslasers ein bifokussierendes Linsensystem zur Er-  
zeugung des Bohr- und Schmelzstrahles, deren Brennpunkte in Ab-  
stand auf der beiden Strahlen gemeinsamen optischen Achse ge-  
legen sind. Möchte man auf ein bifokussierendes Linsensystem ver-  
zichten, so kann man auch den Laser-Schmelzstrahl unter einem Spitz-  
winkel auf den Bearbeitungsort des Bohrstrahles projizieren.

15 Bei der Befolgung der erfinderischen Lehre ist es mit vergleichs-  
weise einfachen Mitteln möglich, den sich beim Bohren mittels  
Laserstrahl bildenden Grat schon während seiner Entstehung  
niederzuschmelzen bzw. bei einem Stahlbiegeschwinger mit der  
20 Stirnfläche des Biegeschwingers zu verschweißen.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind aus den Unteransprüchen  
ersichtlich.

25 Es zeigen:

Figur 1 eine gemäß dem erfinderischen Verfahren arbeitende Vor-  
richtung zum Abgleichen eines Stahlbiegeschwingers,  
Figuren 2 bis 5 verschiedene Linsen-Anordnungen des Bearbeitungs-  
laser-Objektives zur Erzeugung eines Bohr- und Schmelz-  
30 strahles,

Figur 6 zwei Bearbeitungslaser, deren Strahlen unter einem  
spitzen Winkel zueinander gerichtet sind.

35 Gemäß Figur 1 werden zum Abgleich eines Stahlbiegeschwingers 1  
in seine Stirnfläche 2 mittels eines Laserstrahles 3 Bohrungen  
eingeschossen. Der Stahlbiegeschwinger ist bei 4 eingespannt;  
er wird mittels eines Elektromagneten 5 über einen Oszillator 6  
zu Schwingungen angeregt. Die Eigenfrequenz des Stahlbiege-

809840/02811

COPY



Best Available Copy

-4- 6

schwingers wird mittels eines Adapters 7 erfaßt und die Meßgröße über einen Verstärker 8 einem Soll-Istwert-Vergleicher 9 zugeführt. Ein den Bohrstrahl 11 erzeugender Bearbeitungslaser 10 arbeitet hier - ebenfalls in an sich bekannter Art - mit einem zweiten Laser 12 zusammen; er erzeugt den Schmelzstrahl 13. Mittels eines Objektives 14 werden die hier in einer gemeinsamen optischen Achse A verlaufenden Laserstrahlen aufgegliedert, derart, daß Brennpunkte P1 und P2 des Bohr- und Schmelzstrahles auseinanderliegen bzw. die mittels des Objektives erzeugten Brennpunkte der beiden Strahlen 11 und 13 unterschiedlich sind. Wird vom Soll-Ist-Vergleicher 9 eine Übereinstimmung zwischen der Soll- und Istfrequenz ermittelt, so wird der Generator 6 sowie die Laser 10 und 12 abgeschaltet. Im vorliegenden Beispiel sind zwei Bearbeitungslaser 10 und 12 vorgesehen, wobei - in diesem Beispiel - der Schmelzstrahl 13 über einen Umlenkspiegel 16 in die optische Achse A des Bohrerstrahles 11 eingeblendet wird. Sofern der den Bohrstrahl 11 erzeugende Bearbeitungslaser energiereich ist, genügt es und ist es vorteilhaft, mit nur einem Bearbeitungslaser zu arbeiten.

Wie in Figur 2 dargestellt, ist der von einem oder zwei Bearbeitungslasern erzeugte Laserstrahl 3 durch ein Linsensystem 14, bestehend im wesentlichen aus einer bikonkaven Streulinse 18 sowie einer Objektiv-Linse 19, in einen Bohrstrahl 11 und einen Schmelzstrahl 13 aufgegliedert. Zu diesem Zweck ist die Objektiv-Linse 19 zweiteilig gebildet; sie besteht aus einer Ringlinse 20 und einer planar hierzu angeordneten Zentrallinse 21. Die Linsenmaterialien dieser Linsen sind unterschiedlich; die Brechkraft der Zentrallinse 21 ist hier größer als jene der Ringlinse 20. Wie ersichtlich, bilden die Ringlinse mit der Zentrallinse eine Linseneinheit, wobei die Krümmungsradien  $R_1$  und  $R_2$  der planar zueinander liegenden Linsen beiden gemeinsam sind. Das Objektiv 14 ist derart angeordnet, daß der hier von der Zentrallinse 21 erzeugte Brennpunkt des Bohrstrahles 11 auf der Stirnfläche 2 des Biegeschwingers 1 gelegen ist. Der von der Ringlinse 20 erzeugte Brennpunkt P2 des Schmelzstrahles 13 besitzt eine größere Brennweite  $f_2$  als die des Bohrstrahles  $f_1$ . Dies hat zur Folge, daß der Schmelzstrahl während des Bohrvorganges bzw.

809840/0280

-5- 4

- während des Abgleichens die Randzone 2 des Bohrloches 15 beaufschlagt und dabei den Bohrgrat 22 aufschmelzt; dadurch verschweißt der Bohrgrat mit der Stirnfläche 2 des Werkstückes 1. Die Streulinse 18 der Objektivlinse 19 ist hier wahlweise in
- 5 Richtung der Pfeile 23 verstell- und einstellbar. Durch diese Maßnahme kann eine Strahlenaufteilung in Bezug auf die gewünschten Energiedichten des Bohr- und Schmelzstrahles in begrenztem Umfange herbeigeführt werden.
- 10 Figur 3 zeigt eine andere Ausbildung der Objektivlinse 19 des Linsensystems 14 des Bearbeitungslasers. Hier ist die Objektivlinse 19 einteilig gebildet; das Linsenmaterial ist homogen. Die Objektivlinse ist hier nach Art einer Fresnellinse gebildet, d.h. der Linsenkörper besitzt Flächen unterschiedlicher sphärischer Krümmung, wie dies durch die Radien R3 und R4 angedeutet ist. Die Wirkungsweise dieser Linse entspricht im Übrigen jener der Figur 2.
- 15 Figur 4 zeigt ein anderes Linsensystem des Objektivs eines Bearbeitungslasers gemäß der Figur 2. Zum Unterschied gegenüber der letztgenannten Ausführungsform ist hier die Zentral- oder Kernlinse 21' getrennt von der Ringlinse 20' und komplanar zu ihr angeordnet, sowie zwischen der in Pfeilrichtung 23 einstellbaren Streulinse 18 und der Ringlinse 20' gelegen; sie ist in
- 25 Pfeilrichtung 24 einstellbar. Die Brennpunkte P1 und P2 des Bohrstrahles 11 und des Schmelzstrahles 13, aber auch ihre Strahlenquerschnitte, sind so in geeigneter Weise zueinander abstimmbare. Eine derartige Ausführungsform des Objektivs ist daher zu bevorzugen.
- 30 Figur 5 zeigt eine andere Anordnung des Laserobjektivs eines Bearbeitungslasers. Die Objektivlinse 20' ist ringförmig gebildet, wobei jedoch im Gegensatz zur Figur 4 eine Zwischenlinse 25 dazu dient, im Zusammenwirken mit der Ringlinse 20' den Schmelzstrahl 13 gegenüber dem Bohrstrahl 11 einstellbar zu halten. Dies geschieht durch eine Einstellung der Zwischenlinse 25 in Richtung der Pfeile 26. Wie ersichtlich ist der Schmelzstrahl 13 vom Bohrstrahl 11 ummantelt, wobei der Brenn-
- 35

809840/0280



punkt P1 des Bohrstrahles auch hier in der Bearbeitungsebene E gelegen ist.

Die in den Figuren 2 bis 5 gezeigten Linsensysteme sind lediglich schematisch dargestellt, wobei zur besseren Übersicht auf die Darstellung der zur Anwendung kommenden Korrekturlinsen verzichtet wurde.

Figur 6 zeigt eine Anordnung zum Bohren von Löchern mittels eines Laserstrahles, nämlich den Bohrstrahl 11, wobei jedoch hier der die optische Achse 27 des Schmelzstrahles 13 unter einem spitzen Winkel W zur optischen Achse A des Bohrstrahles gerichtet ist. Wie ersichtlich dienen auch hier zwei Bearbeitungslaser 10 und 12 zur Erzeugung des Bohr- und Schmelzstrahles. Sind die Laser parallel zu einander angeordnet, - wie dargestellt - so verwendet man vorteilhaft einen Justierspiegel 28 mit einer nachgeordneten Optik 29, welche den Schmelzstrahl 13, den Bohrstrahl 11 überlagernd, auf den Arbeitsort projiziert.

9 Patentansprüche  
6 Figuren

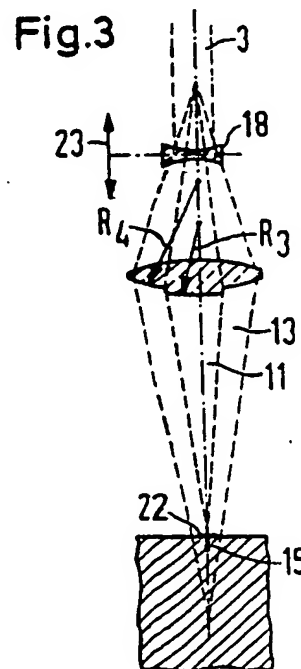
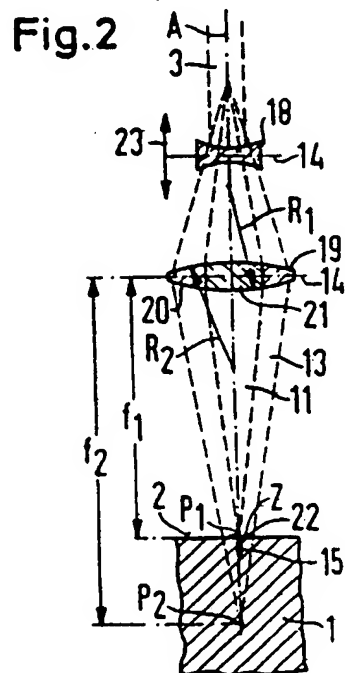
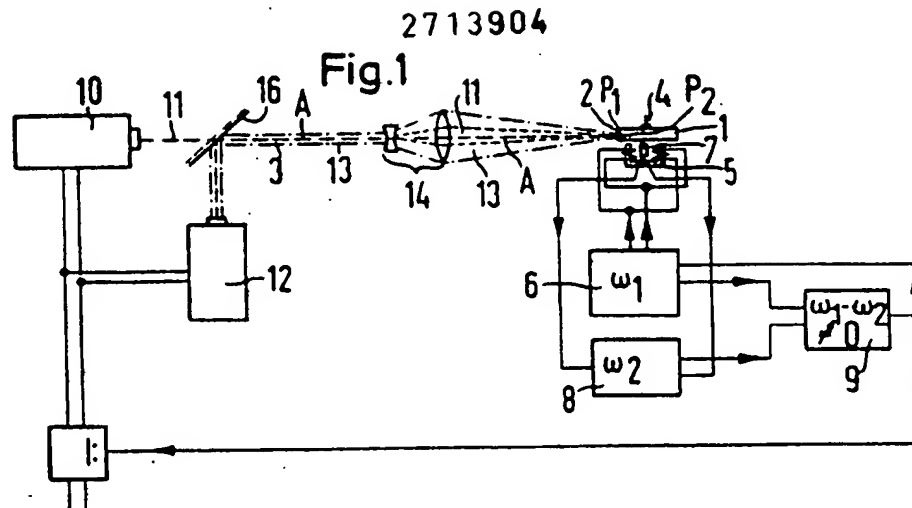
809840/0280

- 9  
Leerseite

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Nummer: 27 13 904  
 Int. Cl.<sup>2</sup>: B 23 K 28/00  
 Anmeldetag: 29. März 1977  
 Offenlegungstag: 5. Oktober 1978

- 11 -  
 VPA 77 P 7 0 3 0 BRD 2/1



809840/0280

Siemens AG

Best Available Copy

2713904

Fig.4

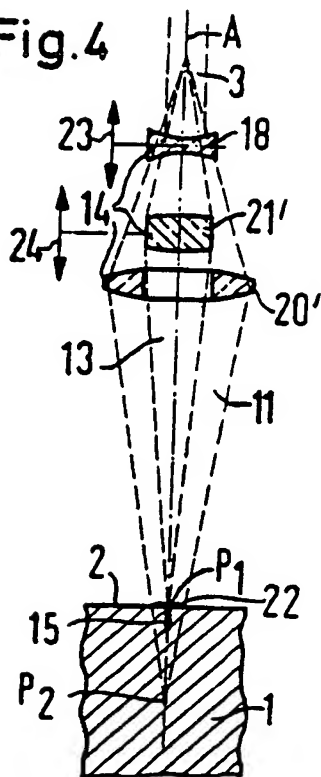


Fig.5

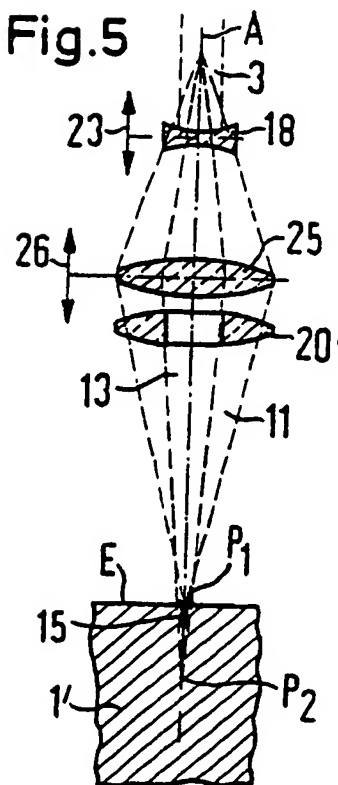
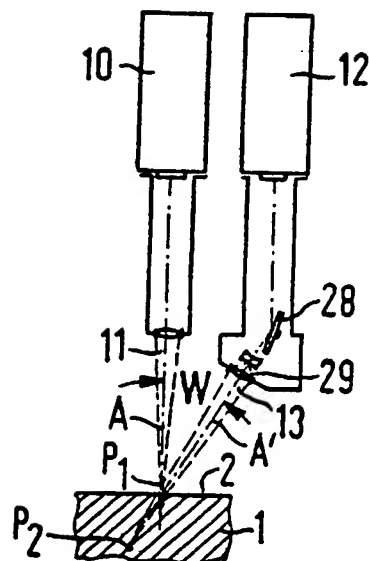


Fig.6



809840/0280

Siemens AG

Best Available Copy